

Notiuni fundamentale de optică ondulatorie.

Acțiunea biologică a radiațiilor UV, V și IR. *LASER*-ul

Natura electromagnetică a luminii

Caracterul dual undă – corpuscul al luminii

Unele fenomene luminoase pot fi explicate doar dacă se acceptă ideea că lumina este o undă electromagnetică (interferență, difracție, dispersie) transversală (polarizare) care are o componentă electrică (câmp electric) responsabilă pentru senzația luminoasă pe care o percepe ochiul uman și o componentă magnetică (câmp magnetic), cei doi vectori oscilând pe direcții reciproc perpendiculare, oscilațiile având loc perpendicular pe direcția de înaintare a undei (Fig. 1).

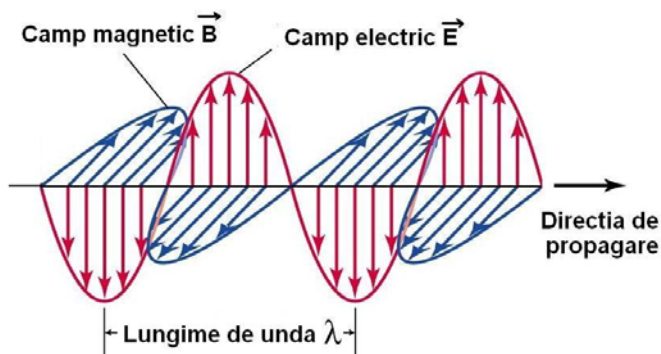


Fig. 1 Lumina – undă electromagnetică transversală

Unda este caracterizată de o lungime de undă λ (litera grecească *lambda*) care reprezintă spațiul parcurs undă într-un interval de timp egal cu perioada T (timpul după care fenomenul ondulatoriu se repetă), de o frecvență ν (*niu*) care reprezintă inversul

perioadei T ($\nu = 1/T$); frecvența se măsoară în Hz (herți).

Câmpul electric și cel magnetic oscilează în timp după legi sinusoidale:

$$E = E_0 \sin(\omega t + \varphi) - \text{câmp electric}$$

$$B = B_0 \sin(\omega t + \varphi) - \text{câmp magnetic}$$

unde ω reprezintă pulsația undei și are expresia $\omega = 2\pi\nu$, iar φ se numește faza undei.

Undele electromagnetice percepute ca fiind luminoase de către ochiul uman au lungimea de undă cuprinsă în intervalul 400-750 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

Cele care au lungimea de undă mai mică decât 400 nm aparțin spectrului ultraviolet UV, iar cele care au lungimea de undă mai mare decât 750 nm aparțin spectrului infraroșu IR (Fig. 2).

Alte fenomene pot fi explicate pornind de la ideea că lumina este un fascicul de cuante (fotoni) energetice (efect fotoelectric, absorbție) fiecare având energia

$$\varepsilon = h\nu$$

unde h este constanta lui Planck egală cu $6,624 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, iar ν este frecvența fotonului, mărime care leagă cele două teorii privind natura luminii.

Între lungimea de undă și frecvență există relația $\lambda = v/\nu$, unde v reprezintă viteza luminii în mediul de propagare. Această relație arată că o undă de frecvență ν mare are o lungime de undă λ mică. Prin urmare, radiațiile

UV caracterizate printr-o frecvență mare au o energie mai mare față de cele care aparțin spectrului IR.

aparținând acestui domeniu prezintă mai ales fenomene ondulatorii.

Energia fotonilor din spectrul vizibil fiind mai mare, radiațiile luminoase prezintă simultan proprietăți ondulatorii și corpusculare. În cazul radiațiilor cu frecvență foarte mare, cum sunt radiațiile X și γ (*gamma*) emise de substanțele radioactive, energia fotonilor este foarte mare, prin urmare proprietățile lor corpusculare pot fi studiate mai ușor.

Reflexia și refracția

Din punct de vedere optic, un mediu transparent se caracterizează printr-o mărime fizică adimensională numită *indice de refracție*, notat cu n care arată de câte ori viteza luminii în vid ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s) este mai mare decât viteza luminii în acel mediu:

$$n = \frac{c}{v}$$

S-a constatat că în momentul în care un fascicul luminos întâlnește un mediu cu indice de refracție diferit decât cel al mediului din care provine, parțial se întorce în mediul inițial sub un unghi egal cu unghiul de incidență (fenomen numit reflexie) și o parte din fasciculul incident trece în cel de-al doilea mediu cu schimbarea direcției de propagare (fenomen numit refracție) (Fig. 3).

Raza incidentă, raza reflectată și cea refractată precum și normala la suprafața de separare în punctul de incidență sunt coplanare. Legea cantitativă a reflexiei afirmă că unghiul de incidență este egal cu unghiul de

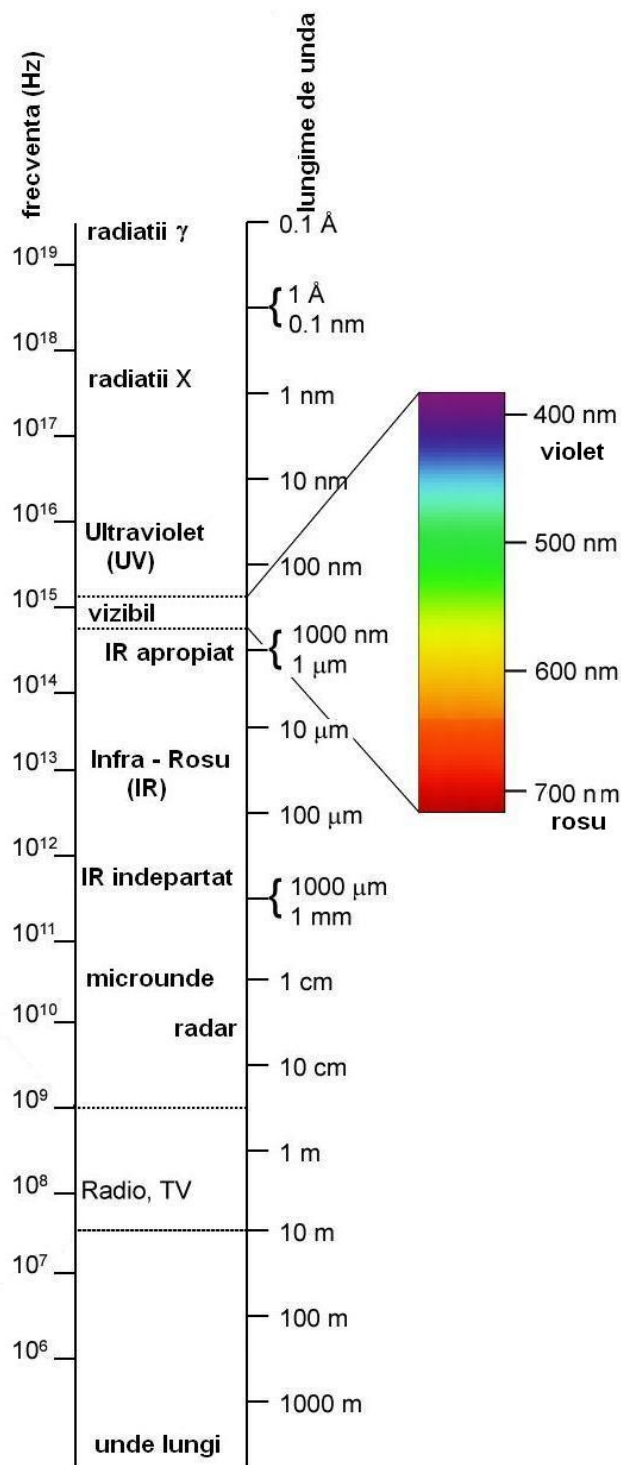


Fig. 2 Spectrul electromagnetic

La radiații cu frecvență mică, cum sunt cele infraroșii, este greu să se pună în evidență structura discontinuă (fotonică) a luminii, de aceea undele electromagnetice

reflexie, iar a refracției stabilește relația dintre indicii de refracției ai celor două medii și unghiurile de incidență și refracție (Fig. 3):

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

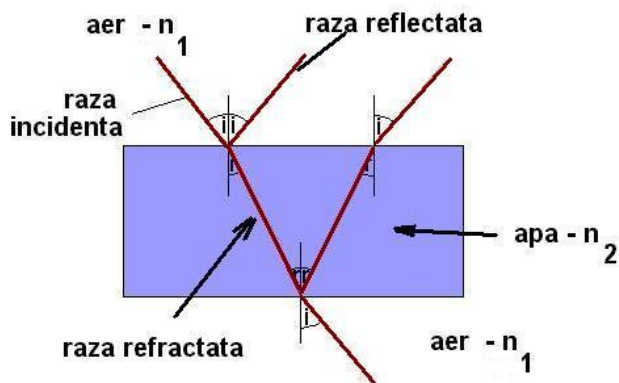


Fig. 3 Reflexia și refracția luminii

În cazul în care al doilea mediu este mai puțin refringent decât primul ($n_2 < n_1$) raza refractată se îndepărtează de normală și peste unghiuri de incidență mai mari decât o valoare limită, care este funcție de n_2 și n_1 , raza nu mai trece în cel de-al doilea mediu, iar fenomenul se numește reflexie totală (Fig. 4).

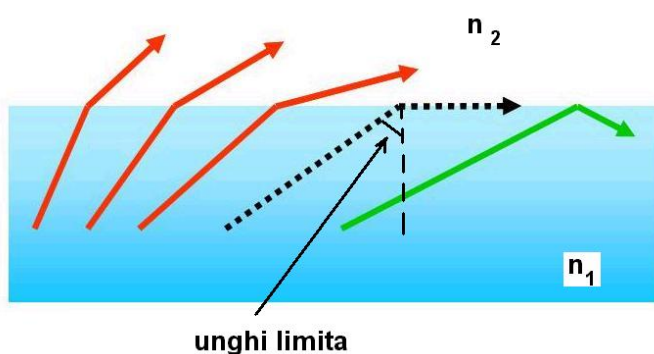


Fig. 4 Reflexia totală; în cazul în care $n_2 < n_1$, raza incidentă sub un unghi mai mare decât unghiul limită nu mai trece în mediul al doilea.

Fenomenul de reflexie totală stă la baza refractometriei care utilizează variația liniară a indicelui de refracție cu concentrația

($n = a \cdot \text{concentrația} + b$). Refractometria este o metodă simplă, rapidă și extrem de precisă de determinare a concentrației unor substanțe.

Fenomene ondulatorii

Interferența

La compunerea a două oscilații de aceeași frecvență se pot distinge două cazuri:

- diferența de fază a celor două oscilații se menține constantă pentru un timp destul de lung; în acest caz intensitatea oscilației rezultante se deosebește de suma intensităților oscilațiilor inițiale, în funcție de diferența de fază, putând fi mai mare sau mai mică; oscilațiile se numesc *coerente*;
- diferența de fază a celor două oscilații variază neregulat în timp, în acest caz oscilațiile sunt *necoerente*, iar intensitatea oscilației rezultante este egală cu suma intensităților oscilațiilor componente.

Numim *interferență* compunerea oscilațiilor coerente.

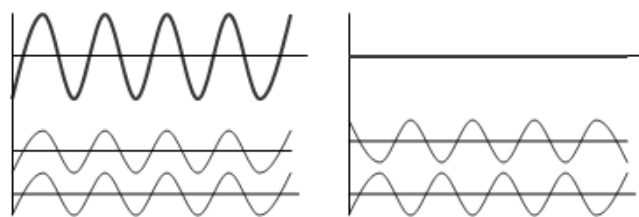


Fig. 5 a) Unde coerente în fază – interferență constructivă; b) Unde coerente în opoziție de fază – interferență distructivă

O metodă de obținere a două unde coerente constă în separarea printr-un ecran prevăzut cu două fante înguste a unui fascicul provenind de la o sursă de lumină monocromatică (Fig. 6). Pe un ecran de

observare se văd dungi luminoase și întunecoase, paralele, numite franje de interferență.

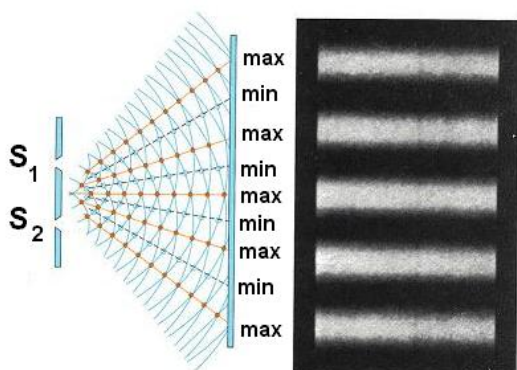


Fig. 6 Franje de interferență observate cu ajutorul dispozitivului lui Young

Fenomenul de interferență stă la baza funcționării interferometrelor, aparate folosite pentru determinarea unor mărimi fizice dintre care amintim indicele de refracție n (raportul dintre viteza luminii în vid și viteza luminii în mediul transparent considerat), mărime fizică ce are relevanță în medicină și biologie.

Difracția

Undele, indiferent de natura lor, sunt capabile să ocolească obstacole de dimensiuni comparabile cu lungimea lor de undă, acest fenomen numindu-se *difracție*. Conform principiului lui Huygens, fiecare punct de pe frontul de undă poate deveni sursă secundară (Fig. 7).

În cazul în care dimensiunea obstacolului este mai mare decât lungimea de undă a fenomenului ondulator, el împiedică propagarea mai departe a undelor (de exemplu, un sunet nu poate trece de un zid foarte lung și foarte înalt, dar ocolește și trece

prin difracție un zid de mărimea lungimilor de undă (0,1 la 20 m) ale sunetelor obișnuite).

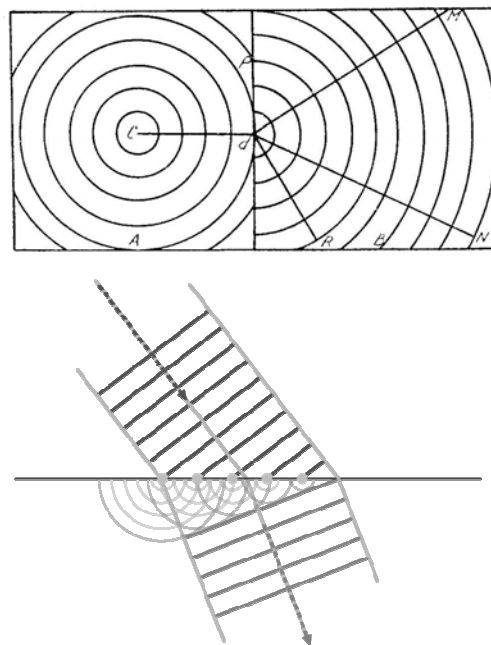


Fig. 7 Ilustrarea principiului lui Huygens

Difracția luminii constă în ocolirea de către lumină a obstacolelor de dimensiuni comparabile cu lungimea sa de undă.

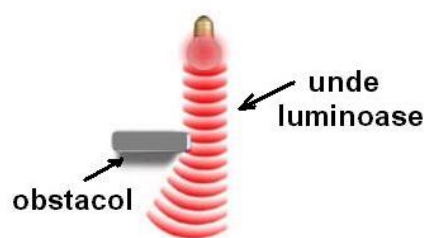


Fig. 8 Lărgirea fasciculului luminos după ce lumina ocolește obstacolul de dimensiuni comparabile cu lungimea sa de undă

Dacă privim un izvor de lumină punctiform, printr-o fantă îngustă, se observă o lărgire a luminii, în direcția perpendiculară pe lungimea fantei (Fig. 8). Pe această lărgime se observă dungi luminoase și întunecoase paralele cu fanta. Pe un ecran opac plasat în

calea razelor de lumină care provin de la un izvor punctiform se observă umbra cu marginile estompate, acest lucru însemnând că în zona de umbră formată după regulile geometrice a pătruns lumina, ocolind marginile ecranului. Acest tip de difracție se numește Fresnel.

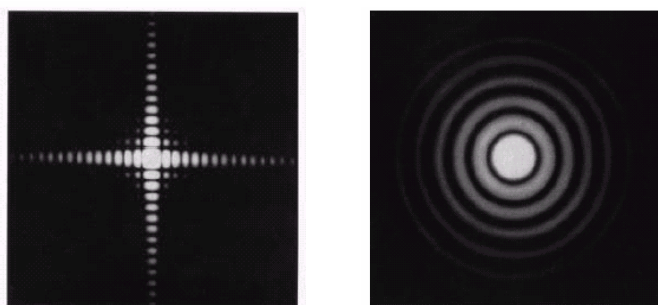


Fig. 9 Difracție Fraunhofer pe o fantă pătratică a) și pe una circulară b)

Dacă fasciculul de lumină trece printr-o fantă îngustă, razele de lumină fiind paralele și înainte și după difracție, difracția este de tip Fraunhofer (Fig. 9, 10).

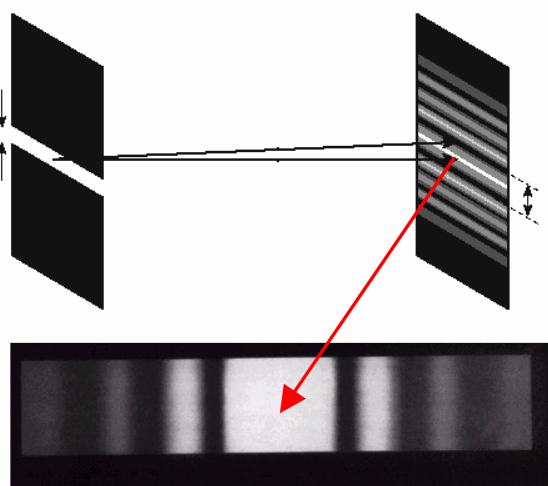


Fig. 10 Figura de difracție pe o fantă

Dacă difracția se face pe două fante paralele și egale ca dimensiuni, figura de difracție arată ca în imagine (Fig. 11).

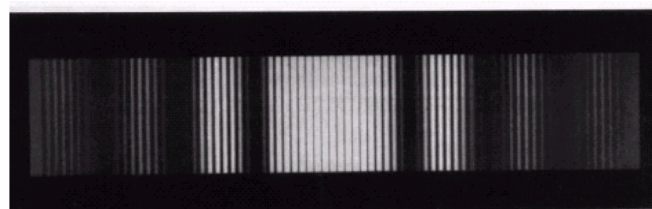


Fig. 11 Figura de difracție pe două fante (Fraunhofer)

În cazul unei rețele de fante, intensitatea maximelor principale crește cu numărul fantelor, poziția regiunilor depinzând de lungimea de undă λ .

Fenomenul de difracție este folosit la construcția spectroscopelor speciale în care spectrele nu se obțin cu ajutorul prismelor ci cu ajutorul rețelelor de difracție. De asemenea, rețelele de difracție sunt folosite pentru determinarea lungimii de undă a radiațiilor Roentgen și a diferitelor unde luminoase.

Polarizarea

Unda luminoasă transversală are o componentă magnetică și una electrică, oscilațiile acestor vectori făcându-se perpendicular pe direcția de înaintare a undei. În lumina naturală, aceste oscilații se efectuează în toate direcțiile perpendiculare pe rază (în orice azimut). Dacă, prin anumite metode, anumite direcții de oscilație sunt îndepărtate, spunem că lumina este parțial polarizată.

În cazul în care oscilațiile se efectuează pe o singură direcție, într-un singur plan care conține, desigur, și vectorul viteză al undei luminoase, spunem că lumina este polarizată liniar (oscilații într-un singur azimut, Fig. 12). Ochiul uman nu este capabil să distingă între lumina naturală și cea polarizată.

Există mai multe metode prin care se poate obține lumină polarizată: polarizare prin reflexie, polarizarea prin refracție (birefringența și dicroismul).

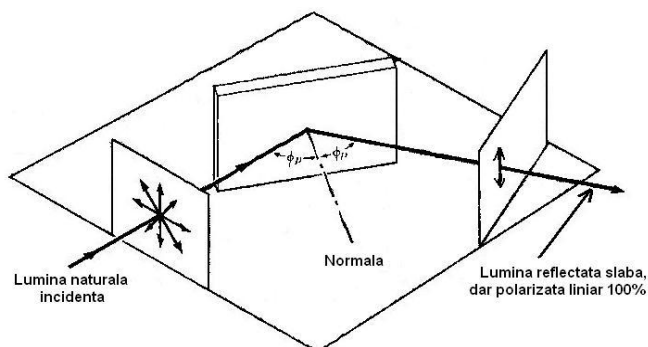


Fig. 12 Polarizarea prin reflexie sub unghi Brewster

Există o categorie aparte de substanțe, de obicei substanțe organice care conțin un atom de carbon asimetric, care au proprietatea de a roti planul de oscilație a vectorului electric când sunt străbătute de lumină polarizată. Ele se numesc optic active, iar unghiul cu care rotesc planul luminii polarizate este direct proporțional cu concentrația lor în soluție. Această dependență directă dintre unghi și concentrație stă la baza polarimetriei, metodă fizică simplă, rapidă și ieftină de determinare a concentrației.

Lumina polarizată este folosită frecvent în biologie și medicină. În laboratoarele de analize medicale sunt întâlnite **urometrele** care sunt niște polarimetre folosite pentru determinarea rapidă a concentrațiilor de glucoză și albumină din urină. Lumina polarizată este utilizată și la microscopul cu polarizare care are nicolii astfel așezați încât cuprind între ei întreaga zonă optică a microscopului, inclusiv proba. Microscopia

polarizantă servește la determinarea izotropiei și anizotropiei optice a diferitelor elemente histologice, precum și la verificarea lor: lamele osoase, cromatină, mielină, fibre nervoase, cartilaje, discuri întunecate ale fibrelor musculare.

Dispersia luminii

Constă în variația indicelui de refracție al unui mediu cu lungimea de undă a radiației care îl străbate. Efectul constă în descompunerea unui fascicul de lumină albă (care poate să conțină toate lungimile de undă din spectrul vizibil) în radiațiile componente (Fig. 13), obținându-se astfel *spectrul* lungimilor de undă.

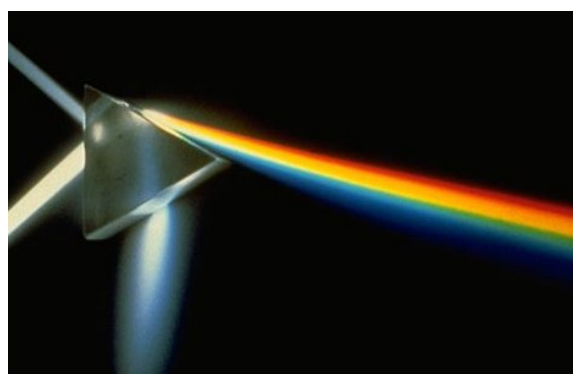
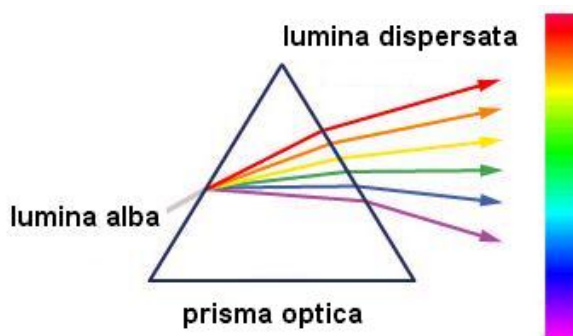


Fig. 13 Dispersia luminii prin prisma optică

Fenomenul de dispersie este folosit cu precădere în spectrometrie pentru obținerea radiațiilor monocromatice, prin păstrarea radiației cu lungimea de undă convenabilă și

obținerea celorlalte. Analizele spectrometrice permit determinarea concentrației unei substanțe dintr-un amestec (analize cantitative), precum și identificarea compușilor dintr-un amestec (analize calitative), pe baza spectrelor de absorbție specifice (Fig. 14).

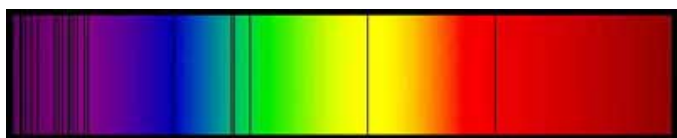


Fig. 14 Un spectru de absorbție. Liniile negre reprezintă poziția lungimilor de undă absorbite de substanța străbătută de lumină albă

Radiațiile vizibile (V)

Radiațiile din spectrul vizibil au efecte notabile asupra organismelor vii în ceea ce privește dezvoltarea, nutriția și mișcarea acestora.

La plantele verzi, fotosinteza clorofilei are loc sub acțiunea radiațiilor vizibile, cu descompunerea dioxidului de carbon și producerea oxigenului. Anumite părți ale plantelor, sub influența luminii, execută mișcări caracteristice, cum ar fi, de exemplu, aplecarea tulpinii florii-soarelui în permanență către soare. Vârful plantelor în creștere se apleacă spre izvorul de lumină, fenomen numit fototropism. În ceea ce privește dezvoltarea plantelor, cele cultivate în întuneric sunt lungi, subțiri și lipsite de clorofilă.

Asupra organismului uman și animal, în general, efectele radiațiilor din spectrul vizibil se observă la nivelul elementelor figurate din sânge, lumina măbind numărul eritrocitelor, precum și procentul de hemoglobină și

rezistența globulară. Sub influența luminii, compoziția chimică a plasmei se modifică, conținutul de fosfor și calciu crește, iar concentrația în glucoză și tirozina scade.

Asupra ochiului uman lumina puternică din zona cu lungimi de undă mici (zona violetului, la limita cu radiațiile ultraviolete) poate produce o conjunctivită reversibilă, care poate să apară după 12 ore de la expunere și trece după 2-3 zile. Accidente de acest tip se observă la sudorii care nu-și protejează ochii în timpul lucrului, aceste afecțiuni fiind numite oftalmii electrice. Retina este protejată de diferitele medii transparente ale ochiului care absorb mare parte din radiațiile UV.

Radiațiile vizibile din zona lungimilor de undă mici, deci apropiate de UV, au acțiune antibacteriană, acest efect bactericid fiind mult mai pronunțat la radiațiile UV.

Efectul de seră (Fig.15) apare în momentul în care radiațiile vizibile cu lungimi de undă scurte de la soare trec printr-un mediu transparent, dar cele cu lungimi de undă lungi ale radiațiilor infraroșii emise de obiectele încălzite nu mai sunt capabile să străbată mediul transparent (sticla, de exemplu) și sunt reflectate (se întorc în mediul din care au provenit).



Fig. 15 Efectul de seră

Rezultatul constă în încălzirea suplimentară a mediului în care se află obiectele încălzite (de exemplu, încălzirea interiorului unei mașini lăsate mult timp în soare puternic sau supraîncălzirea interiorului unei sere).

Fototerapia

Constă în utilizarea în medicină a efectelor biologice și fiziologice ale luminii.

Helioterapia, fototerapia realizată la malul mării, îmbunătățește funcționarea inimii și a respirației, sub efectul razelor soarelui, organismul reține mult mai bine calciul și fosforul cu rezultate notabile în cazurile de rahitism. Helioterapia stimulează activitatea glandei tiroide, băile de soare constituind un tonic general al organismului. Sub acțiunea radiațiilor solare se refac globulele roșii și globulele albe, iar circulația sângelui, respirația și digestia sunt stimulate.

Helioterapia acționează favorabil în cazuri de: dispepsii de origine nervoasă, stare generală proastă, randamentul muncii intelectuale scăzut, dureri de cap, insomnii, debilitate fizică, pubertate întârziată, anemie, hipocalcemie, peritonită tuberculoasă, adenite cronice, convalescență, plăgi atone, supurații cutanate, lupus, osteoartrite, reumatism, stafilococie cutanată (furuncule, acnee), fistule, anexite, nefrite, diferite tipuri de tuberculoză (osoasă și articulară).

Trebuie să se țină cont însă și de efectele negative ale expunerii îndelungate la soare cum ar fi grăbirea îmbătrânirii pielii, iar în

cazul persoanelor suferinde de boli febrile, tuberculoză pulmonară, hipertensiune arterială în stadii avansate, hipertiroidie, cancer, expunerea la soare se face numai la indicația medicului curant.

O altă aplicație a fototerapiei se întâlnește în maternități. Un număr mare de copii se nasc cu așa numitul icter fiziologic. Copiii tind să producă o cantitate mare de bilirubină, deoarece în primele săptămâni de viață au o cantitate prea mare de globule roșii (bilirubina reprezintă un produs secundar al distrugerii globulelor roșii uzate). Bilirubina este procesată de ficat care este imatur la nou-născuți. Excesul de bilirubină neprocesată determină icterul fiziologic și culoare gălbuie a pielii copilului. Însă, bilirubina este fotosensibilă, prin urmare, simpla baie de lumină distruge bilirubina.

Radiațiile infaroșii (IR)

Domeniul IR începe imediat după vizibil (Fig. 2), dar există oameni și animale care pot să vadă chiar radiații aparținând spectrului IR. Convențional, IR începe la 760 nm și se întinde ca limită de lungimi de undă până la 343000 nm de unde încep undele herziene.

Producerea undelor IR

Radiațiile IR sunt produse, în general, de corpuri calde, fiecare corp cald dând un spectru de emisie care poate fi continuu (metale încălzite) sau discontinuu (emisia vaporilor metalici în arc electric). Un izvor cu emisie continuă este corpul negru, intensitatea

radiației emise este dată de legea lui Stefan-Boltzmann, potrivit căreia energia totală radiată pe secundă de un corp negru (ϵ) este proporțională cu puterea a patra a temperaturii absolute (T):

$$\epsilon_{\lambda T} = \sigma T^4$$

unde $\sigma = 5,735 \cdot 10^{-16} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{grd}^4$

Proprietățile radiației IR

Deoarece sunt cuprinse într-un interval larg al lungimilor de undă, radiațiile IR au caracteristici diferite din punct de vedere fiziologic, al puterii de pătrundere, precum și al aplicațiilor practice.

Radiațiile IR nu au proprietăți calorice speciale, aspectul termic al radiației IR fiind mai accentuat decât la radiația UV și V deoarece ele se pot produce mai ușor în cantitate mai mare. Ele se pot reflecta, refracta, pot interfera, suferă fenomenele de difracție și de polarizare.

Limita dintre radiațiile vizibile și cele IR are caracter fiziologic, se află acolo unde lumina încetează a mai fi vizibilă. Delimitarea este subiectivă, deoarece, daltoniștii, de exemplu, nu văd roșul deloc și odată cu vârsta și condițiile de sănătate o parte din roșu devine invizibil.

Spectrul infraroșu este complicat, din el au fost studiate grupele de radiații de la 0,75 la 400 μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). Proprietățile diferitelor grupe se pot clasifica din punctul de vedere al utilizării lor medicale astfel:

- IR terapeutic se întinde de la limitele spectrului vizibil până la 6000 nm din care

numai IR cu lungimi de undă mai mici decât 1500 nm sunt radiații penetrante (se obțin cu lămpi cu filament de tungsten sau de la soare);
- IR cu lungimi de undă peste 6000 nm cuprind radiațiile emise de corpul omenesc, de organisme, de sol și de obiectele care ne înconjoară, organismul uman fiind imunizat la acest tip de radiații printr-o imunizare îndelungată.

Efectele IR asupra organismelor vii

O iradiere moderată cu IR de undă scurtă, pentru care celula este permeabilă, întărește activitatea acesteia. Pentru IR cu lungimi de undă mai mari de 1,5 μm puternic absorbite sau pentru o iradiere puternică a celulei are loc o distrugere a acesteia.

În ceea ce privește organismul uman, efectul IR de la soare se manifestă indirect prin modificarea gradientului termic al pielii. Pielea este relativ opacă la IR până la 1,5 μm , devenind apoi relativ opacă cu un spectru de absorbție destul de complex. În raport cu permeabilitatea pielii se folosește următoarea clasificare în terapeutică a IR:

- IR cu $\lambda > 5 \mu\text{m}$ sunt absorbite la suprafață;
- IR cu $1,5 \mu\text{m} < \lambda < 5 \mu\text{m}$ sunt absorbite de epiderm și derm;
- IR cu $0,75 \mu\text{m} < \lambda < 0,5 \mu\text{m}$ sunt penetrante, penetrația fiind funcție de pigmentație, de gradul de temperatură etc.

IR au efect asupra circulației: vasodilatație, intensificare a schimburilor dintre celule prin amplificarea fenomenelor osmotice și creșterea debitului sanguin. Aceasta

provoacă un edem papilar, care contribuie la protejarea epidermei de acțiunea IR.

IR stimulează activitatea nervoasă a pielii, făcând-o mai sensibilă la excitarea externă și internă, dar pot acționa și asupra durerilor, calmându-le, fie prin acțiunea inhibitoare directă asupra nervilor afectați, fie prin acțiune asupra sistemului circulator. Prin intermediul reacțiilor sanguine și al sistemului nervos, radiațiile IR acționează asupra secrețiilor glandulare și asupra metabolismului general.

În general, IR sunt folosite în afecțiunile sistemului lacunar, dureri abdominale, toracice, articulare, plagi ale pielii. Ele accelerează oxidările și măresc efectul lor în metabolismul general, stimulând funcționarea glandelor endocrine, având efect favorabil în tulburările de nutriție.

Pe de altă parte, expunerea la IR cu $0,75 \mu\text{m} < \lambda < 0,5 \mu\text{m}$ produce leziuni oculare: fotofobii, opacificări progresive ale cristalinului, paralizie a irisului, dezlipire a retinei, cataracte.

Radiațiile ultraviolete (UV)

Radiațiile UV au valori ale lungimilor de undă mai mici decât 400 nm. Așadar, aceste radiații au frecvențe mai mari decât cele radiațiile vizibile, prin urmare și energie mai mare. Radiațiile UV au efecte biologice deosebite justificând astfel utilizarea procedurilor terapeutice de iradiere cu aceste radiații, fie ca atare, fie după o prealabilă administrare de substanțe fotosensibilizante.

Proprietățile radiațiilor UV

- proprietăți termice: la incidența pe un corp absorbant, o parte mică a energiei UV este transformată în căldură;
- proprietăți optice: provoacă fluorescența diferitelor substanțe
- proprietăți fotoelectrice: deoarece radiațiile UV ionizează aerul, ele sunt capabile să descarce corpurile electrizate; produc efect fotoelectric: trimise asupra unei foițe metalice încărcate negativ o descarcă, prin cedarea energiei lor electronilor în surplus care pot părăsi metalul; cu cât lungimea de undă a radiației este mai mică, cu atât energia fotonilor incidenți este mai mare și electronii pot căpăta o energie cinetică mai mare
- proprietăți fotochimice: pot produce reacții de oxidare, de reducere, de polimerizare (transformarea aldehidei formice, sub acțiunea UV, în glucide – reacție întâlnită în decursul procesului de asimilație clorofiliană), reacții de fotoliză, reacții biochimice.

Efectele UV asupra organismelor vii

Iradierea cu UV modifică procentul de calciu și fosfor din sânge. În stare normală, eritrocitele nu sunt influențate, în schimb se produce o hiperleucocitoză, urmată de o leucopenie. În plasmă, se constată creșterea procentului de calciu și fosfor și o scădere a glicemiei. Aceste radiații activează circulația și măresc capacitatea eritrocitelor de a fixa oxigenul. Presiunea arterială coboară mai ales la hipertensivi.

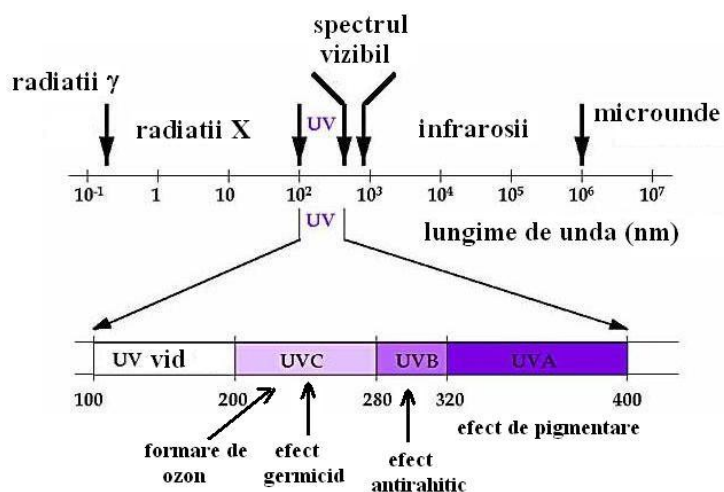


Fig. 16 Spectrul radiațiilor UV

Printre cele mai importante radiații UV enumerăm pe cea de 280 nm sub acțiunea căreia se formează vitamina D2, antirahitică. În esență, ergosterolul iradiat se transformă în D2. Cele de 260 nm au un puternic efect bactericid. În Fig. 16 aveți o reprezentare a spectrului UV și a domeniilor în care se manifestă efectele specifice.

O sumarizare a efectelor interacțiunii radiațiilor electromagnetice cu substanța este prezentată în figura 17.

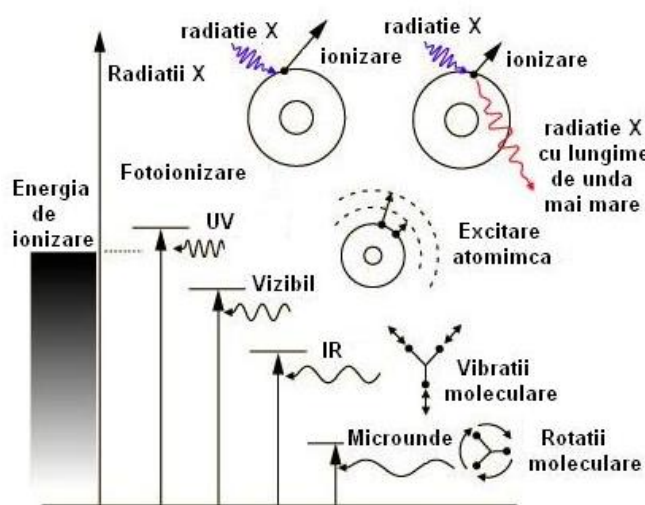


Fig. 17 Efectele interacțiunii radiațiilor electromagnetice cu substanța

Radiația LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - amplificare a luminii prin stimularea emisiei radiației)

Un laser este un dispozitiv complex alcătuit dintr-un mediu activ (solid - cristale dielectrice, semiconductori; lichid - soluții lichide de coloranți; sau gazos) și o cavitate optică rezonantă (Fig. 18).

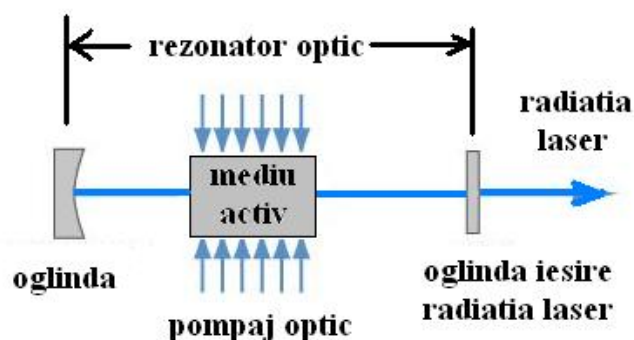


Fig. 18 Schema unui laser

Mediul activ primește energie din exterior prin pompare care poate fi optică sau electrică. În urma pomparii, atomii din mediul activ sunt excitați, adică electronii acestora sunt trecuți pe nivele de energie superioară, în număr mult mai mare decât are un mediu aflat în echilibru termic, fenomen numit inversie de populație (Fig. 19).

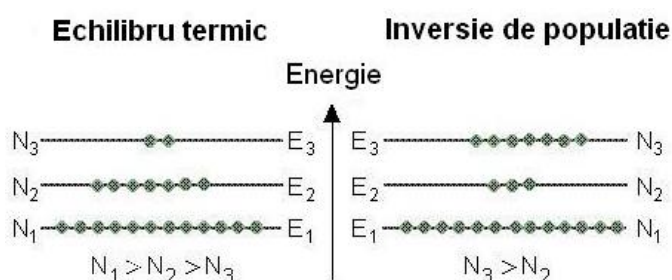


Fig. 19 Inversia de populație în cazul pompezii optice

Dacă mediul activat prin pompaj este străbătut de un fascicul de lumină, acesta din urmă va fi amplificat prin dezexcitarea stimulată a atomilor – proces prin care un foton care interacționează cu un atom excitat determină emisia unui alt foton identic (aceeași energie, aceeași direcție, aceeași stare de polarizare).

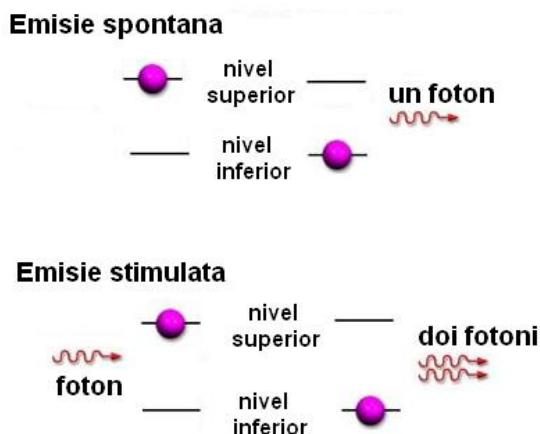


Fig. 20 Comparație între emisia spontană și emisia stimulată

Astfel, generând prin emisie spontană un foton este posibil să se obțină un fascicul cu un număr foarte mare de fotoni identici cu fotonul inițial.

Rezonatorul optic este format de obicei din două oglinzi concave aflate la capetele mediului activ și are drept scop selectarea fotonilor generați pe axa optica a cavitatii și recircularea acestora prin mediul activ de cât mai multe ori.

În funcție de tipul mediului activ și de modul de realizare a pompajului, laserul poate emite radiații în mod continuu sau în impulsuri.

Printre laserii cu cristale dielectrice se numără laserul YAG (sau laserul cu granat de yttrium și aluminiu dopat cu neodim) care emite raze infraroșii având lungimea de undă $1,06 \mu\text{m}$ și laserul cu rubin (oxid de

aluminu impurificat cu ioni de crom) care emite radiații vizibile (roșii) cu lungimea de undă de $0,69 \mu\text{m}$.

Printre laserii cu amestec gazos, mai cunoscuți sunt laserul cu heliu-neon care emite radiații infraroșii cu lungimi de undă de $3,39 \mu\text{m}$ și $1,15 \mu\text{m}$ precum și lumină roșie cu lungimea de undă de $0,63 \mu\text{m}$ (în laserul cu heliu-neon, atomii de neon sunt centrii activi care se excită prin ciocniri cu atomii de heliu și cu electronii liberi ce apar în cursul pompajului optic realizat prin descărcări electrice chiar în amestecul gazos) și laserul cu amestec de bioxid de carbon și azot care emite radiații infraroșii cu lungimi de undă de $9,6$ și $10,6 \mu\text{m}$ (în acest laser, centrii activi sunt moleculele de CO_2).

Raza laser are un înalt grad de **monocromatism** și o foarte mică **divergență** în propagare ceea ce favorizează concentrarea unei mari puteri pe unitatea de suprafață, **direcționalitate** și **coerență**. Aceste proprietăți sunt determinate de faptul că fotonii generați în avalanșă sunt identici cu fotonul inițial.

Terapia LASER

LASER-ul a permis dezvoltarea rapidă a terapiei bazată pe iradierea cu raze laser a organismului.

Utilizarea terapeutică a laserului constă în **chirurgia cu radiații laser** și în **biostimularea cu radiații laser**.

Un laser cu CO_2 cu o putere de câțiva wați și care emite în regim continuu poate fi folosit pentru realizarea unui **bisturiu cu laser**; radiația emisă, condusă printr-un ghid optic (un fascicul de fibre optice) fiind focalizată pe țesutul ce urmează a fi tăiat, țesut pe care îl încălzește rapid și extrem de localizat până la vaporizare. Chirurgia cu laser este foarte

precisă, nu solicită efort mecanic și nu este însoțită de sângerări importante, deoarece pereții plăgii se coagulează termic iar vasele mai mici se închid.

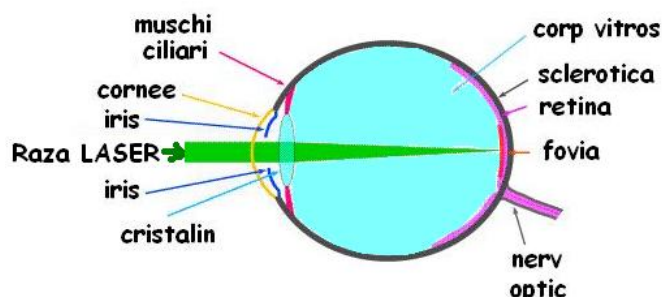


Fig. 21 Folosirea terapeutică a laser-ului în cazul dezlipirilor de retina

Terapia laser se folosește în **dezlipirile de retină**, deoarece fasciculul laser poate străbate mediile transparente ale ochiului fără a fi absorbit de acestea, întreaga lui energie fiind cedată retinei, care se lipește de sclerotică prin fotocoagulare. Laserul este utilizat și în tratamentul **glaucomului**, permițând refacerea sistemului de drenaj al lichidului intraocular și scăzând, astfel, presiunea intraoculară (Fig. 22).

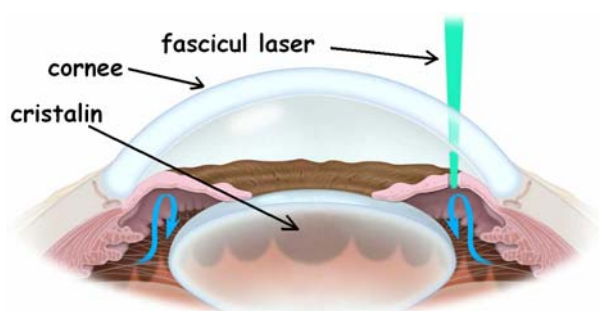


Fig. 22 Intervenția LASER pentru refacerea sistemului de drenaj al lichidului intraocular, având drept consecință scăderea presiunii intraoculare

În multe cazuri, laserul este utilizat în **endoscopie**, atât pentru iluminare cât și pentru eventuale microintervenții chirurgicale. Un exemplu este utilizarea laserului în chirurgia cardiacă: prin perforări punctiforme ale peretelui ventricular este stimulată geneza unor noi vase și, în final, o mai bună vascularizare a miocardului.

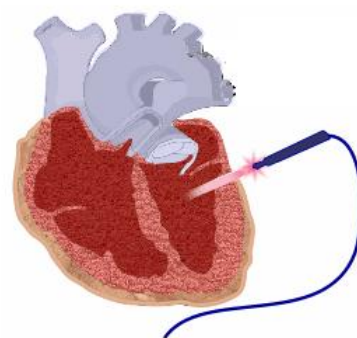


Fig. 23 Revascularizarea cardiacă cu ajutorul laserului

Radiația laser are capacitatea de a stimula unele procese biologice, de a grăbi vindecarea rănilor și a fracturilor, de a produce efecte terapeutice prin **lasero-punctură** (echivalent al acupuncturii) etc.

Noțiuni fundamentale de optică geometrică.

Elemente de biofizica analizorului vizual

Noțiuni de optică geometrică

Numim *dioptru* suprafața de separare dintre două medii transparente cu indici de refracție diferiți (apă – aer, sticlă – aer etc.)

Dioptrul sferic

În cazul în care suprafața de separare dintre două medii cu indici de refracție diferiți este sferică dioptrul este sferic. Elementele dioptrului sferic (Fig. 1) sunt: vârful V (punctul de intersecție al axului optic principal cu suprafața dioptrului), raza de curbură R și indicii de refracție ai celor două medii transparente n și n' .

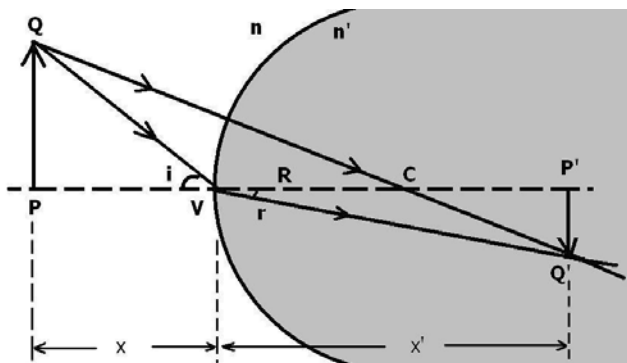


Fig. 1 Formarea imaginii unui obiect PQ prin dioptrul sferic

Relația care există între raza de curbură R (Fig. 13) a dioptrului sferic, distanța obiect-vârf x , imagine-vârf x' și indicii de refracție n și n' este:

$$\frac{n'}{x'} - \frac{n}{x} = \frac{n' - n}{R}$$

(relația punctelor conjugate)

Se definește mărirea liniară β ca fiind numărul care arată de câte ori înălțimea imaginii este mai mare decât înălțimea obiectului

$$\beta = \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{y'}{y}$$

Se poate demonstra că pentru dioptrul sferic mărirea liniară are expresia:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{x'}{x}$$

Construcția imaginii unui obiect PQ printr-un dioptru se face ținând cont de legile refracției razelor de lumină. La intersecția razelor refractate prin oglindă se află imaginea $P'Q'$ a obiectului PQ. Se observă din Fig. 1 că raza care pleacă din punctul Q orientată către centrul de curbură al dioptrului trece nedeviată în cel de-al doilea mediu deoarece incidența este normală. În punctul V care constituie vârful dioptrului, raza care cade sub unghiul de incidență i va fi refractată sub unghiul r , la intersecția ei cu raza care trece prin centrul dioptrului aflându-se imaginea Q' a punctului Q. Coborând din punctul Q' o perpendiculară pe axul optic principal al sistemului, obținem imaginea punctului P. Unind P' cu Q' , obținem imaginea finală a obiectului PQ. Deoarece imaginea finală se obține prin intersecția razelor de lumină, și nu a prelungirilor acestora, spunem ca imaginea este *reală*. Acest tip de imagine poate fi captată pe un ecran.

Oglinzi sferice

O oglindă sferică reprezintă un dioptru în care cel de-al doilea mediu nu mai este transparent ci perfect reflector. Se definește **focarul** oglinzii (F în Fig. 2) ca fiind punctul în care se întâlnesc razele de lumină care cad pe suprafața oglinzii venind de la infinit, paralel cu axul optic principal, după reflexia pe oglindă. Se poate demonstra că focarul unei oglinzi sferice se află la jumătatea distanței dintre centrul oglinzii și vârful acesteia, prin urmare distanța focală a oglinzii sferice este egală cu jumătatea razei de curbură a acesteia.

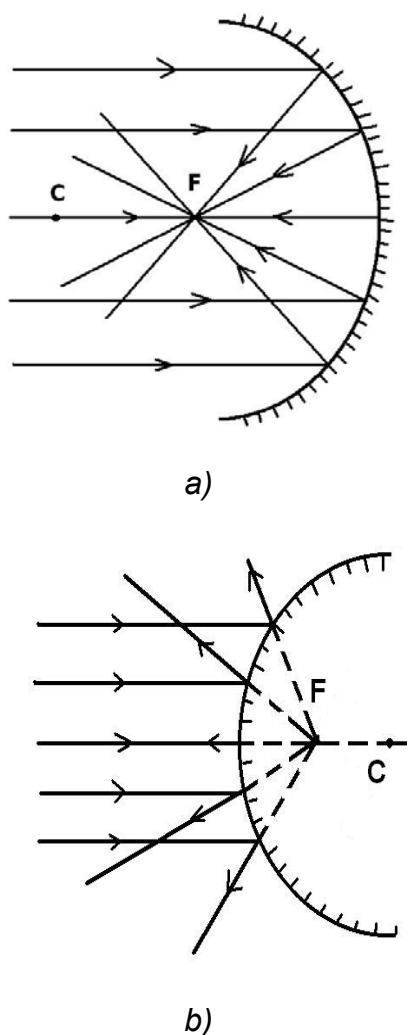


Fig. 2 Focarul unei oglinzi sferice a) concave, b) convexe

În funcție de concavitățile oglinzilor, razele de lumină care cad pe oglindă pot converge după reflexie, caz în care oglinda se numește *concavă* (Fig. 2a), sau pot să fie împrăștiate, oglinda fiind, în acest caz, *convexă* (Fig. 2b).

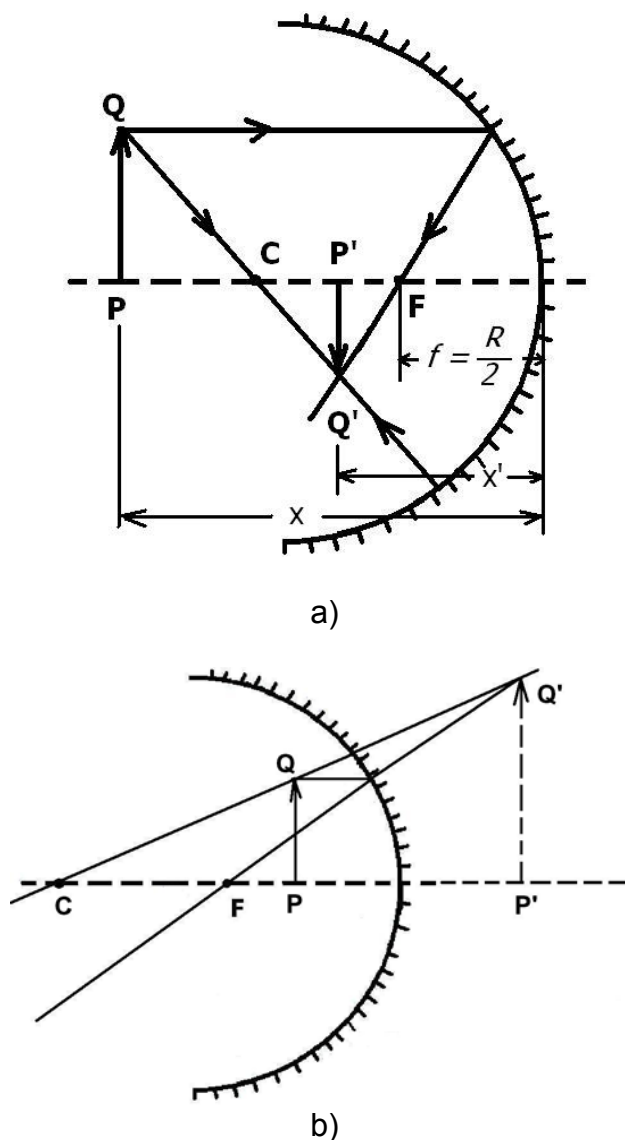


Fig. 3 Formarea imaginii unui obiect PQ într-o oglindă concavă; a) obiectul fiind situat în afara centrului oglinzii, imaginea P'Q' este reală, micșorată și răsturnată; b) obiectul fiind situat între focar și vârf, imaginea finală este virtuală, mărită și dreaptă

Focarul unei oglinzi concave este real, iar cel al unei oglinzi convexe este virtual,

aflându-se la intersecția prelungirilor razelor de lumină.

Formarea imaginilor prin oglinzi se face ținând cont de legile reflexiei. Astfel, pentru construirea imaginii unui obiect PQ printr-o oglindă concavă (Fig. 3 a) și b)) se urmăresc pașii:

- se trasează mersul razei care este reflectată de vârful Q al obiectului PQ, paralel cu axul optic principal; după reflexia pe oglindă această rază va trece prin focarul oglinzii;
- raza care pleacă din vârful Q orientată către centrul oglinzii se va reflecta pe același drum;
- la intersecția celor două raze se află imaginea punctului Q, Q';
- coborând o perpendiculară din punctul Q' pe axul optic principal, se obține punctul P' care constituie imaginea punctului P;
- imaginea finală a obiectului PQ este segmentul P'Q'.

În mod similar se procedează pentru construcția unei imagini printr-o oglindă convexă (Fig. 4).

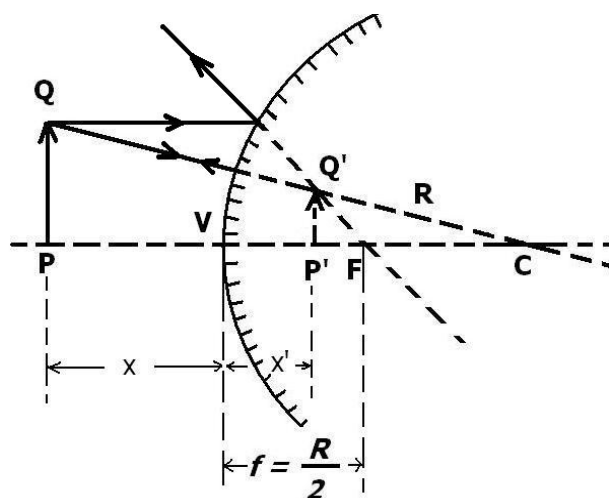


Fig. 4 Formarea imaginii unui obiect PQ într-o oglindă convexă; imaginea P'Q' este dreaptă, virtuală și micșorată.

Se observă că, în funcție de locul de plasare a obiectului în fața oglinzii, putem obține imagini reale sau virtuale, drepte sau rasturnate în oglinda concavă, în timp ce, indiferent de poziția obiectului, oglinda convexă formează doar imagini virtuale, drepte și micșorate ale acestuia.

Dacă în formula punctelor conjugate a dioptrului sferic se înlocuiește n' cu $-n$ (razele incidente pe oglindă sunt reflectate total, deci se întorc tot în mediul din care au provenit), se poate deduce relația dintre focarul oglinzii, distanța obiect-oglină x și imagine-oglină x' :

$$\frac{1}{x'} + \frac{1}{x} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}$$

De asemenea, se poate deduce mărirea liniară dată de oglindă

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{x'}{x} = -\frac{x'}{x}$$

Utilizarea oglinzilor în practica medicală

Aparatele de cercetare, microscopale, colorimetrele au oglinzi plane care aduc prin reflexie lumina de la izvorul luminos în câmpul optic al aparatului.

În endoscopie se folosesc oglinzi plane pentru explorarea unor cavități ale corpului, cavități care au un orificiu de comunicare cu exteriorul. Endoscoapele pot fi cu iluminare internă sau externă. În Fig. 5 este desenată schema unui uretroscop cu iluminare exterioară. El este compus dintr-o sondă S, o lampă electrică cu incandescență L, un sistem optic A care cuprinde o oglindă plană m , perforată la mijloc. Lumina trimisă de lampa L se reflectă în oglinda m și este trimisă în

uretră, iar examinarea se face prin sistemul optic, care apropie imaginea fără să o mărească.

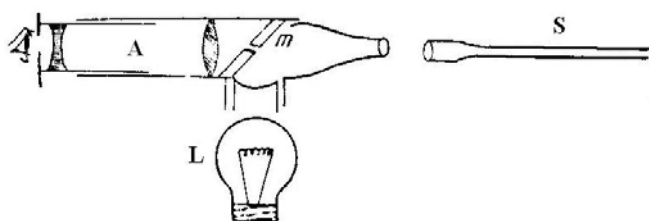


Fig.5 Uretroscop cu iluminare exterioara

Un endoscop utilizat la examinarea vezicii este cistoscopul, la care se întrebuițează iluminarea internă. Cistoscopul (Fig. 6) este o sondă care are o regiune curbată spre extremitatea ce pătrunde în vezică și un sistem de oglinzi care aduce imaginea la ochiul observatorului.

Oglinzi stomatologică este o oglindă concavă, cu aceasta se privește în partea posterioară a dinților, imaginea finală fiind virtuală, mărită și dreaptă.

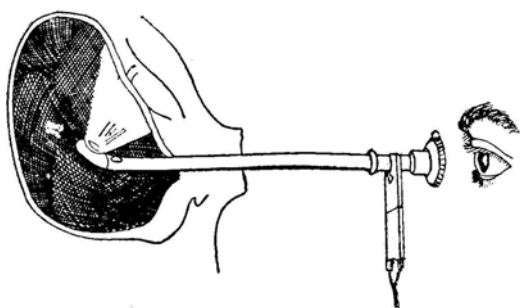


Fig. 6 Cistoscop

În oto-rino-laringologie (ORL) se folosește mult oglinda frontală care primește lumină de la un bec electric care concentrează lumina asupra regiunii de examinat. Pentru examinarea laringelui se introduce în gură așa-

numita oglindă laringoscopică (Fig. 7), aflată la capătul unei tije metalice.

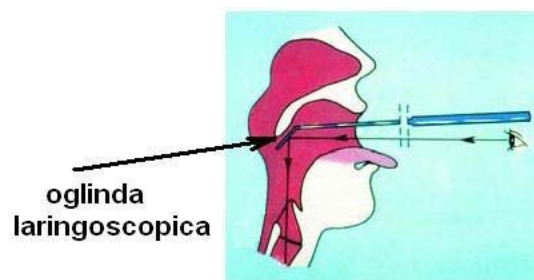


Fig. 7 Oglinda laringoscopica

Dând oglinzii frontale și oglinzii laringoscopice direcții convenabile se poate obține o iluminare corespunzătoare a corzilor vocale și se poate vedea imaginea lor în oglinda laringoscopică.

Întâlnim oglinzi concave și în oftalmologie, utilizate pentru examinarea fundului de ochi.

Lentile sferice subțiri

O lentilă reprezintă un mediu transparent caracterizat de un anumit indice de refracție ($n_{\text{lentilă}}$), imersat într-un mediu, de asemenea transparent, cu un indice de refracție diferit (n_{mediu}) – o succesiune de doi dioptri sferici.

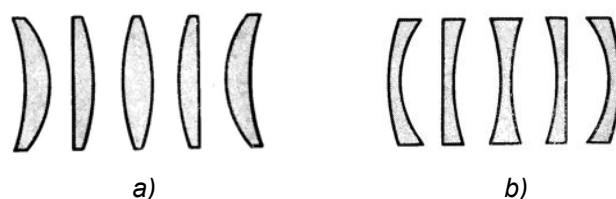


Fig. 8 a) lentile convergente (mijlocul mai gros decât capetele); b) lentile divergente (mijlocul mai subțire decât capetele)

Lentilele se obțin prin șlefuirea unor medii transparente în așa fel încât suprafețele obținute să fie perfect netede.

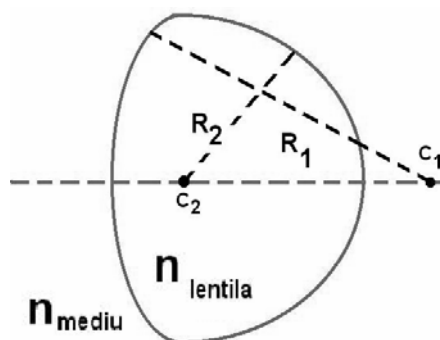


Fig. 9 Elementele unei lentile

Cele mai uzuale tipuri de lentile sunt cele sferice (Fig. 8a, b)) ale căror fețe sunt reprezentate de niște calote sferice (de raze R_1 și R_2) și cele cilindrice ale căror fețe sunt decupate din niște cilindrii (Fig. 10).

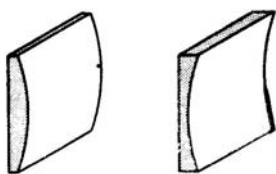


Fig. 10 Lentile cilindrice

O mărime caracteristică sistemelor optice este convergența C care reprezintă inversul distanței focale f .

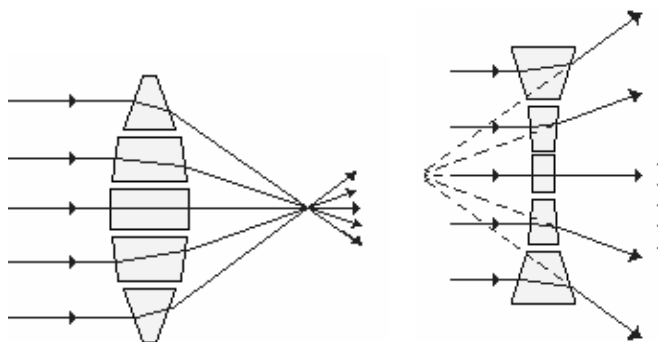


Fig. 11 a) Focarul unei lentile sferice convergente; b) Focarul unei lentile sferice divergente

Focarul este acel punct în care se întâlnesc razele de lumină care vin de la infinit, paralel cu axul optic principal după ce străbat lentila, respectiv punctul din care izvorăsc razele de lumină care după refracția pe lentilă merg paralel cu axul optic principal (Fig. 11).

În funcție de razele de curbură și de indicii de refracție ai mediilor implicate (Fig. 9), se poate calcula convergența lentilei folosind relația:

$$C = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{lentila}}}{n_{\text{mediu}}} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Pentru un sistem de lentile alipite convergența totală este egală cu suma convergențelor individuale.

Lentilele sferice se împart în două categorii și anume în lentile **convergente** (Fig. 8 a)) și lentile **divergente** (Fig. 8 b)). Lentilele convergente au marginile mai subțiri decât mijlocul, în timp ce cele divergente sunt caracterizate de o grosime mai mică a mijlocului decât a marginilor. Convergența lentilelor convergente este pozitivă (focare reale), iar a lentilelor divergente este negativă (focare virtuale).

Imaginile obiectelor reale în lentilele subțiri sferice

Pentru a construi mersul razelor de lumină printr-o lentilă convergentă putem desena mersul a două raze reflectate de vârful obiectului: raza care trece nedeiată prin centrul optic al lentilei și raza care cade pe

lentilă paralel cu axul optic principal (aceasta se va refracta prin focar).

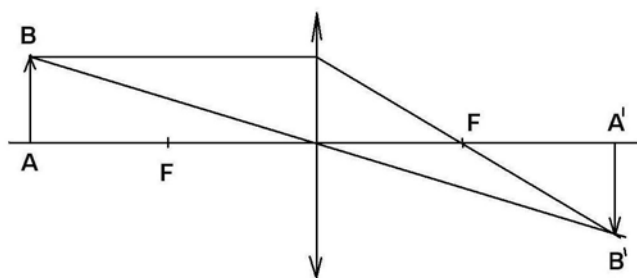


Fig. 12 Formarea imaginii prin lentila convergentă când obiectul este situat la $-2f$

În figurile 12 – 16 sunt reprezentate imaginile unui obiect situat la distanțe diferite de o lentilă convergentă. Se observă că imaginea este reală (se află la intersecția razelor de lumină și poate fi captată pe un ecran) dacă obiectul este situat la o distanță mai mare decât distanța focală față de lentilă.

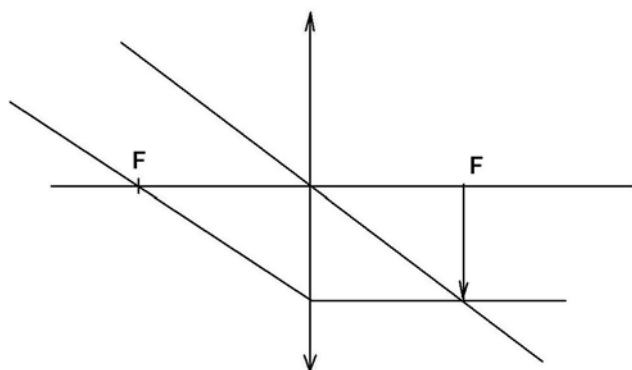


Fig. 13 Formarea imaginii prin lentila convergentă când obiectul este situat la $-\infty$

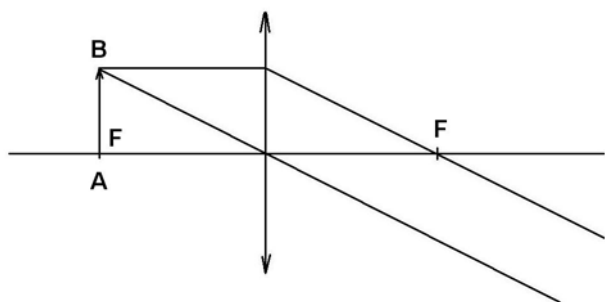


Fig. 14 Formarea imaginii prin lentila convergentă când obiectul este situat la $-f$

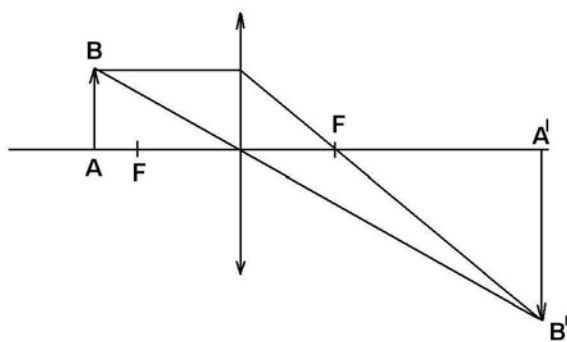


Fig. 15 Formarea imaginii prin lentila convergentă când obiectul este situat între $-2f$ și $-f$

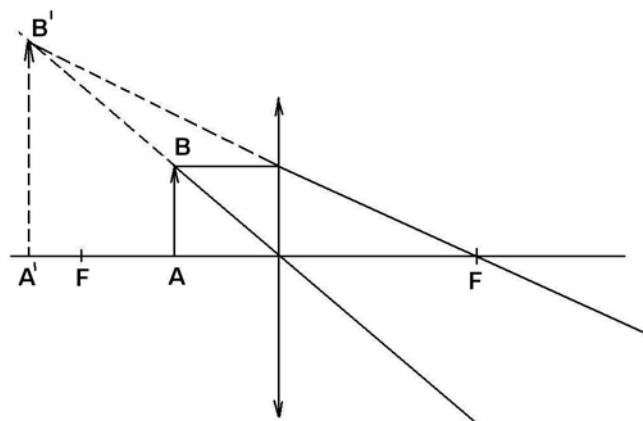


Fig. 16 Formarea imaginii prin lentila convergentă când obiectul este situat între $-f$ și vârf

În cazul în care obiectul este situat între focar și centrul lentilei imaginea devine virtuală (aflată la intersecția prelungirilor razelor de lumină, nu poate fi captată pe un ecran)

Lentile divergente dau imagini virtuale ale obiectelor reale, indiferent de poziția acestora față de lentilă (Fig. 17).

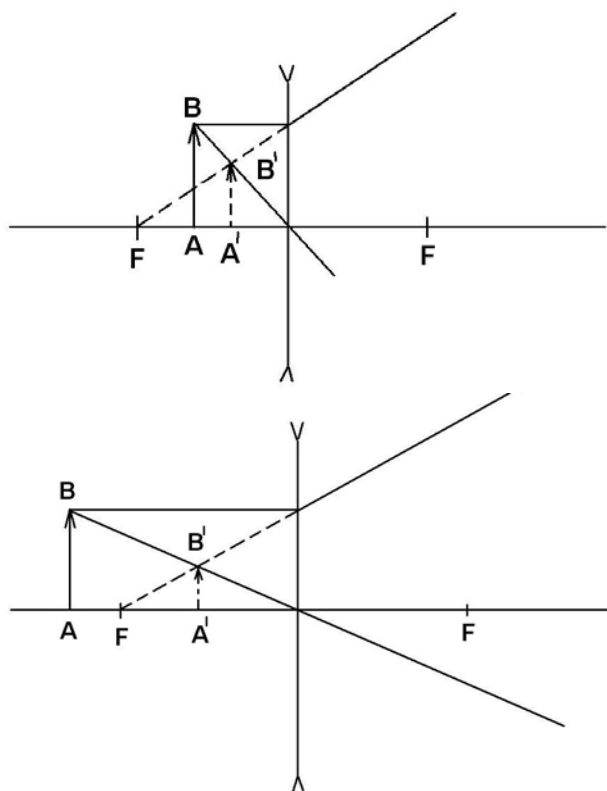


Fig. 17 Formarea imaginii prin lentila divergentă

Analizorul vizual

Cu ajutorul analizorului vizual se recepționează, se analizează și se traduc în impulsuri nervoase informațiile privind forma, dimensiunile, poziția, mișcarea, culoarea obiectelor lumii înconjurătoare. Semnalul fizic ce poate fi recepționat de către analizorul vizual este radiația electromagnetică cu lungimea de undă λ cuprinsă între 400 - 750 nm.

Elementele principale ale analizorului vizual sunt ochiul, traiectele nervoase aferente și eferente, stațiile de prelucrare intermediare și proiecția corticală.

Structura ochiului

Ochiul are o formă globulară cu diametrul de cca. 2,5 cm.

În ordine, antero-posterior, elementele ochiului (Fig. 18) sunt:

- corneea (transparentă, grosimea ei crește de la centru spre periferie unde atinge aproximativ 1 mm)

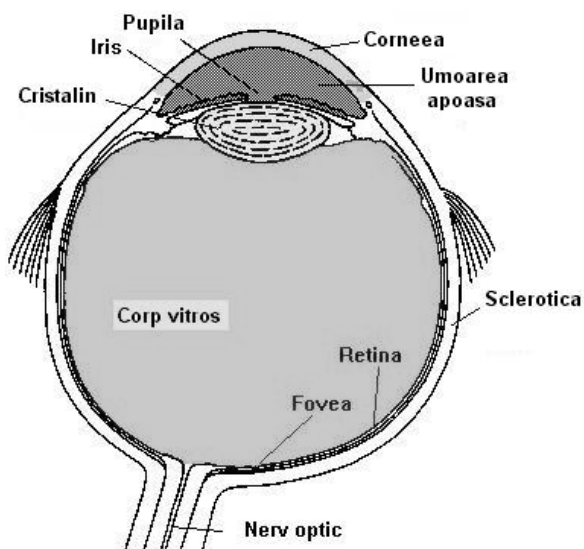


Fig. 18 Elementele ochiului

- sclerotica (țesut opac, fibros și elastic care acoperă globul ocular pe 5/6 din suprafața sa)
- camera anterioară cu umoarea apoasă
- irisul (diafragmă inelară pigmentată, din fibre de țesut conjunctiv și fibre netede); fața anterioară a irisului, colorată diferit la diferiți oameni se vede bine prin corneea, în timp ce fața posterioară este căptușită cu celule pline de pigment negru care continuă pe cele ale coroidelor
- cristalinul – lentilă biconvexă menținută de fibrele zonulei lui Zinn; cristalinul este înconjurat de un înveliș elastic numit cristaloidă care cuprinde un sistem de fibre transparente așezate în pături concentrice; refringenta cristalinului crește de la periferie spre centru
- camera posterioară cu umoarea vitreoasă
- retina (cu foveea, pata galbenă și papila) constituită din prelungirea nervului optic, se

întinde până la zonula lui Zinn; grosimea totală a retinei este de 0,4mm; dintre toate straturile care o formează cel mai important este cel cu conuri și bastonașe, prelungire diferențiată a celulelor nervoase terminale ale nervului optic.

- coroida (țesut puternic pigmentat care absoarbe lumina parazită, împiedicând difuzia acesteia în interiorul ochiului); înspre partea anterioară coroida este îngroșată și formează corpul ciliar format în parte de mușchiul ciliar, constituit din două grupe de fibre netede, unele rectilinii în direcția meridianului ochiului, altele circulare la periferia corneei.

Mușchii ciliari (fibre radiale și circulare) și zonula lui Zinn (ligament inelar legat de sclerotică, alcătuit din fibre elastice) permit modificările convergenței cristalinului. Zonula menține cristalinul în poziția sa în stare de tensiune mecanică. Mușchii ciliari pot elibera, prin contracție, cristalinul de sub tensiunea zonulei.

Studiul ochiului din punct de vedere al opticii geometrice

Modele ale ochiului redus

Ochiul este redus la un dioptru prin care razele se propagă la fel ca în ochiul real. În *modelul Listing*, ochiul este un dioptru sferic cu raza de 6 mm care separă aerul de un mediu transparent cu indice de refracție $n = 1.337$.

Modelul Gullstrand constă dintr-un sistem optic centrat în care un dioptru sferic unic cu raza 5,7 mm (care reprezintă practic corneea: $C = 60$ D) separă aerul de un mediu transparent de indice de refracție 1,336. Centrul optic este centrul de curbura al dioptrului.

Distanța dintre centrul optic și retină este de cca. 15 mm. Retina se află în planul focal.

Ochiul este considerat un sistem optic centrat alcătuit din următoarele elemente:

- corneea, având indicele de refracție $n = 1,372$, separată de aer printr-un dioptru anterior convex și de
- umoarea apoasă, $n = 1,336$, printr-un dioptru posterior concav
- cristalinul, $n = 1,413$ (1,375-1,473) este separat de umoarea apoasă printr-un dioptru anterior convex și de
- umoarea vitreoasă ($n = 1,336$), printr-un dioptru posterior tot convex.

Corneea este mediul cel mai refringent, cca 40 D. Are cea mai mare contribuție la convergența totală de cca 60 D. Cristalinul contribuie cu restul de 20 D. Convergența cristalinului este mai mică deoarece acesta este mărginit de medii cu indici de refracție apropiați, în timp ce corneea se află în contact cu aerul care are indicele de refracție mult mai mic decât cel al corneei.

Cristalinul este o lentilă biconvexă cu $R_1 = 10$ mm și $R_2 = 6$ mm (în stare neacomodată). Este alcătuit din straturi celulare concentrice al căror indice de refracție crește dinspre periferie spre centru.

Convergența cristalinului este variabilă datorită modificării curburii. Umoarea vitreoasă conferă tensiune globului ocular.

Adaptarea la lumină

Irisul reprezintă o diafragmă care limitează fluxul luminos ce cade pe retină și care micșorează aberațiile cromatice și de

sfericitate produse de lentilele ochiului. Când luminozitatea este slabă, fibrele radiale ale irisului se contractă (midriază), diametrul pupilei crește. La iluminare excesivă, fibrele circulare ale irisului micșorează pupila (mioză). Acest fenomen se numește adaptare la lumină. Adaptarea de la lumină la întuneric cere mai mult timp decât adaptarea inversă de la întuneric la lumină.

Acomodarea la distanță

Într-un ochi normal, imaginea obiectelor foarte îndepărtate se formează pe retină (întocmai ca și la aparatul de fotografiat (Fig. 19 a)).

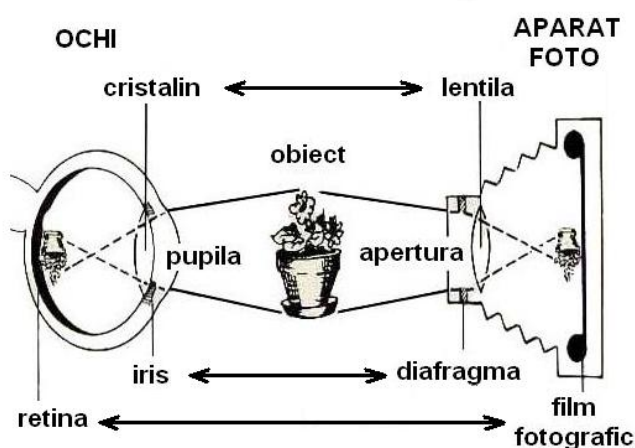


Fig. 19 a) Formarea imaginii pe retină în ochiul emetrop

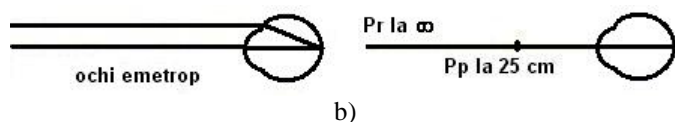


Fig. 19 b) Poziționarea Pp și Pr pentru ochiul emetrop

Dacă obiectele sunt situate la o distanță mai mică de 6 m de ochi, imaginea lor s-ar forma în spatele retinei dacă cristalinul nu s-ar bomba mărindu-și convergența (Fig.20).

Pentru ca imaginea să fie clară, ea trebuie să se formeze pe retină.

Aceasta se realizează astfel: cristalinul este înconjurat de un ligament circular, zonula lui Zinn, pe care se află înserați mușchii ciliari circulari și radiali. La contracția fibrelor circulare, zonula se relaxează și cristalinul iese de sub tensiune, bombându-se sub efectul propriei elasticități. Convergența sa va crește și imaginea se formează mai aproape de centrul optic (mai în față, deci pe retină).

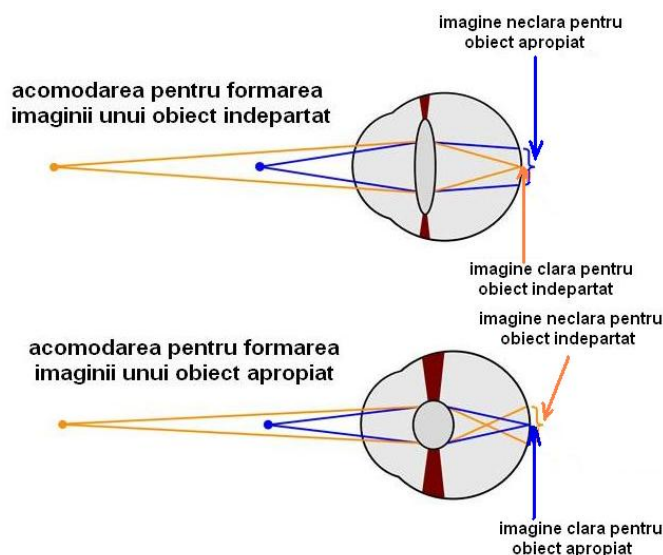


Fig. 20 Modificarea formei cristalinului în cursul acomodării

Invers, la contracția fibrelor radiale, zonula este din nou pusă sub tensiune, cristalinul se subțiază și își micșorează convergența. În acest fel se realizează acomodarea.

Vederea clară se realizează între două puncte (Fig. 19 b)): *punctum proximum* – pp și *punctum remotum* – pr. Pp – cel mai apropiat, văzut clar cu acomodare maximă. Pr – cel mai depărtat, văzut clar fără acomodare. La ochiul normal (emetrop) $pp = 25 \text{ cm}$, $pr \rightarrow \infty$.

Defectele geometrice ale vederii (ametropiile)

Cu ajutorul oftalmoscopului, oftalmologul stabilește starea de sănătate a retinei și a umorii vitroase.

Ochiul normal se numește ochi *emetrop*, el poate vedea clar obiectele depărtate, fără acomodare. Ochiul emetrop, din punct de vedere fizic are focarul posterior pe retină. În cazul în care ochiul nu vede clar, fără acomodare, obiectele situate la infinit, el se numește *ametrop*, de aici și denumirea de ametropii pentru defectele de vedere.

Defectele geometrice ale vederii pot fi clasificate astfel, în funcție de cauza lor:

- defecte axiale (dimensiunile globului ocular)
- defecte de curbura (forma dioptrilor)
- defecte de indice (indicii de refracție ai mediilor transparente)
- defecte de elasticitate (proprietățile mecanice ale cristalinului)

Miopia

Acest defect de vedere se manifestă prin creșterea convergenței ochiului.

În funcție de cauza acestei creșteri avem de a face cu mai multe tipuri de miopii și anume:

- Miopia *axială*, cel mai frecvent întâlnită, este caracterizată de axul anteroposterior mai lung decât cel al ochiului emetrop, din această cauză imaginea se formează înaintea retinei. Pp și pr se află mai aproape de ochi.

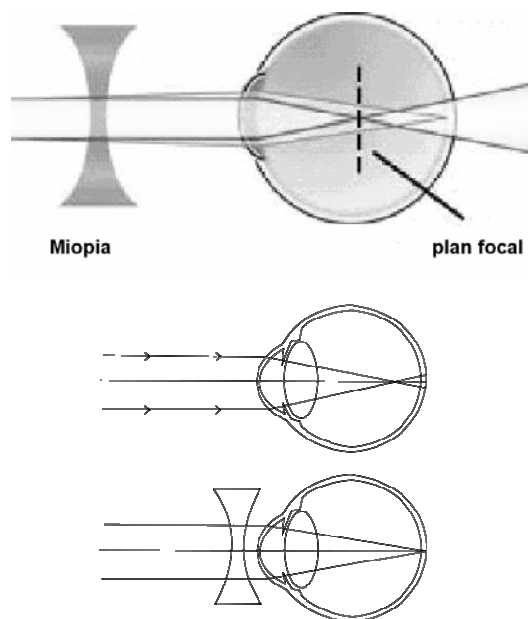


Fig. 21 a) Formarea imaginii înaintea retinei în ochiul miop și corectarea miopiei cu ajutorul lentilei divergente



Pp și Pr sunt mai aproape de ochi

Fig. 21 b) Atât Pp cât și Pr sunt mai aproape de ochiul miop

- Miopia de *curbură*: curbura cristalinului este mai mare, convergența va fi mărită (de obicei este legată de oboseală).
- Miopia de *indice* caracterizată de creșterea indicelui de refracție datorită creșterii concentrației saline în anumite stări patologice (vărsături incoercibile, diaree rebele, mari hemoragii și plasmoragii, expuneri excesive la soare, șocuri traumatice, lipotimie – în aceste din urmă două cazuri, deshidratarea și hiperconcentrarea salină consecutivă apar ca o consecință a fugii apei din țesuturi spre patul vascular lărgit ca urmare a epuizării mecanismelor neuro-hormonale de menținere a tonusului vascular).

În toate cazurile se corectează cu **lentile divergente** (Fig. 21a) care au convergența negativă care, adăugată convergenței crescute a ochiului, o aduc în limitele normale.

Hipermetropia

Se caracterizează prin scăderea convergenței totale a ochiului. Imaginea se formează în spatele retinei, pp se află mai departe. Avem de-a face cu următoarele tipuri de hipermetropie:

- Hipermetropia *axială* caracterizată de axul anteroposterior mai scurt decât cel al ochiului emetrop
- Hipermetropia de *curbură* caracterizată prin cristalinul mai alungit. Cristalinul trebuie să se bombeze în permanență pentru a aduce imaginea pe retină.

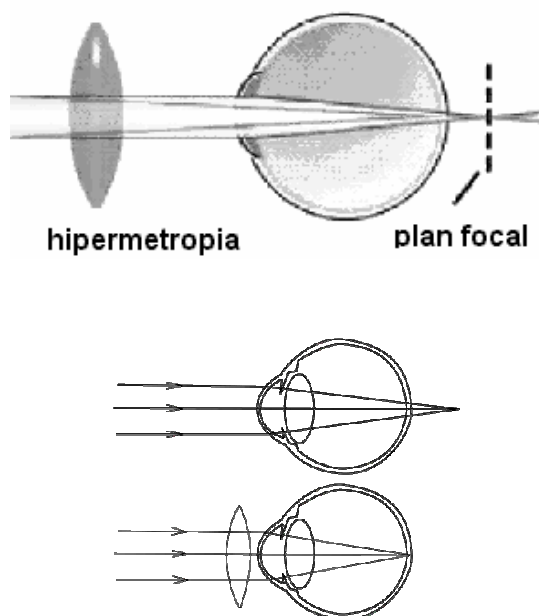


Fig. 22 a) Formarea imaginii în spatele retinei în ochiul hipermetrop și corectarea hipermetropiei cu ajutorul lentilei convergente



Fig. 22 b) Atât Pp cât și Pr sunt mai departe de ochiul hipermetrop

În ambele cazuri, corectarea vederii (Fig. 22) se face cu ajutorul **lentilelor convergente** care au o convergență pozitivă, prin urmare, însumând convergența lenilei cu convergența scăzută a ochiului hipermetrop se obține o convergență totală corectă egală cu cea a ochiului emetrop. Se produc uneori și hipermetropii din cauza absenței cristalinului (congenital – foarte rar sau extirpat printr-o operație de cataractă), caz în care ochiul se numește *afac*.

Presbiopia

Sau **presbitismul** este o ametropie de elasticitate care apare, în general, după vârsta de 40 de ani. Bombarea cristalinului se face mai dificil, deoarece elasticitatea acestuia se diminuează o dată cu înaintarea în vârstă. Se folosesc **lentile convergente** pentru a vedea obiectele apropiate.

Astigmatismul

Este o ametropie de curbură. Razele de curbură ale mediilor transparente ale ochiului nu sunt egale de la un meridian la altul al dioptrilor (mai ales pentru corneea), prin urmare forma acestora nu mai este sferică, ci cilindrică. Astigmatismul este de două feluri: regulat sau neregulat. Astigmatismul regulat

este acea ametropie în care refringenta variază progresiv de la un meridian la altul. Acest tip de astigmatism este mai ușor de studiat și de corectat. Într-un dioptru astigmat imaginea unui punct nu mai este punctiformă ci este reprezentată de o dreaptă verticală și una orizontală așezate în plane diferite, prin urmare, ochiul astigmat nu obține pe retină o imagine clară a unui punct luminos. Corectarea acestui defect de vedere se face cu ajutorul **lentilelor cilindrice**. Lentila cilindrică nu are un focar punctiform ca cea sferică ci o dreaptă focală. Această dreaptă focală poate fi considerată ca fiind formată din focarele a numeroase lentile convergente elementare supraetajate ca o coloană și formând o lentilă cilindrică. Adeseori, astigmatismul este însoțit și de o altă ametropie.

În general, pentru corectarea unei ametropii se așează subiectul în fața unei scări de acuitate vizuală - Harta Snellen (numită astfel după Hermann Snellen care a creat-o în 1862, Fig. 23). Harta Snellen conține așa numitele **optotipuri** care reprezintă simboluri standardizate cum ar fi litere, numere, forme geometrice de diferite mărimi.

Ele prezintă o geometrie simplă și anume:

- grosimea liniilor este egală cu distanța dintre spațiile albe dintre linii și cu diametrul cercului din care se formează litera C

- înălțimea și grosimea optotipului este de cinci ori mai mare decât grosimea unei linii.

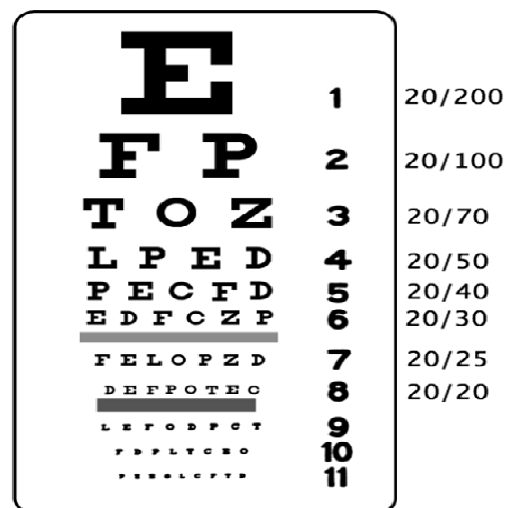


Fig.23 Harta Snellen folosită pentru testarea acuității vizuale

Acuitatea vizuală reprezintă raportul dintre distanța la care se află subiectul și distanța la care cel mai mic optotip identificat subîntinde un unghi de 5 minute. Linia 20/20 este cea mai mică dintre linii care poate fi vizualizată de un subiect sanatos aflat la o distanță de aproximativ 6 m. Pacientul își acoperă ochiul care nu urmează să fie examinat, apoi se fixează pe rând, într-un ochelar special, cu locuri pentru lentilă, câte o lentilă divergentă sau convergentă. În funcție de lentila cu care subiectul vede mai bine se stabilește diagnosticul, respectiv tipul ametropiei (miopie, hipermetropie), apoi se dau lentile de convergență pozitivă sau negativă până ce subiectul citește bine de aproape sau vede bine de departe. Lentila care redă subiectului facultatea de a vedea normal compensează ametropia și are convergența numeric egală și de semn contrar cu aceasta.

Utilizarea laserelor pentru corectarea defectelor de vedere

Laserele medicale sunt folosite în oftalmologie de peste 20 de ani pentru corectarea defectelor de vedere (de exemplu, în cataracta secundară, în unele forme de glaucom, în retinopatia diabetică și unele afecțiuni ale fundului de ochi). Razele ultraviolete sparg joncțiunile dintre celulele corneei cu o precizie de 0,25 de microni și, în același timp, lumina nu influențează temperatura țesuturilor din jur. Prima intervenție pe ochi uman s-a realizat în 1988 în Germania și s-a numit PRK (keratectomie fotoreactivă). De atunci, este perfecționată încontinuu, pentru corecția miopiei, hipermetropiei și astigmatismului. Tehnica LASIK (laser assisted *in situ* keratomileusis) este mai eficace în viciile de refracție severe. Această tehnică este complet nedureroasă și are un efect spectaculos, după câteva ore de la operație, pacientul este complet refăcut.

În esență, în timpul unei intervenții, raza laser, ghidată de computer, șlefuieste corneea, modelând curbura acesteia, în funcție de tipul și gradul viciului de refracție. Cu o precizie extraordinară, laser-ul înlătură straturi ultrasubțiri de țesut. În cazul miopiei, de exemplu, laser-ul scurtează axul ochiului, aplatizând corneea; în cel al hipermetropiei, laserul îl alungește, îndepărtând țesutul de la periferie. Pentru astigmatism, se îndepărtează o suprafață eliptică dintr-un anumit meridian.

Biofizica recepției vizuale

Structura retinei

Retina (Fig. 24) are o suprafață de cca 2 cm^2 , o grosime de $350 \text{ }\mu\text{m}$ și este alcătuită din 5 tipuri de celule fiecare îndeplinind un alt rol, dispuse în straturi succesive (Fig. 24, săgeata din stânga figurii indică sensul luminii). Ultimele în calea luminii sunt *celulele epitelului pigmentar*, urmate de *celulele fotoreceptoare* cu conuri și bastonașe care conțin pigmenții fotosensibili și sunt orientate cu extremitatea fotosensibilă înspre coroidă. Fotoreceptorii nu sunt distribuiți uniform în retină, în zona nervului optic sunt absenți și de aceea zona este numită *pata oarbă*.

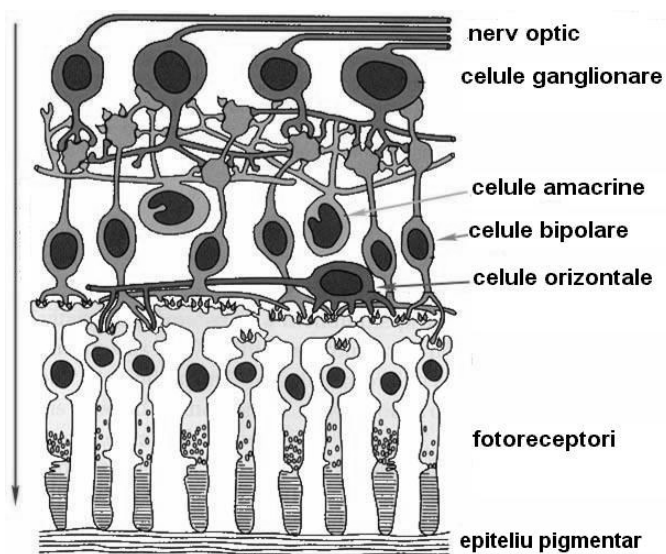


Fig. 24 Structura retinei

Urmează apoi *celulele horizontale*, *celulele bipolare*, *celulele amacrine* și *celulele ganglionare* ale căror axoni alcătuiesc nervul optic.

Structura și funcția celulelor fotoreceptoare

Celulele fotoreceptoare realizează funcția de traducere a semnalului vizual (radiația electromagnetică din domeniul vizibil) în semnal electric.

Celula cu bastonaș (Fig. 25 a)) este alcătuită din două părți: *segmentul extern* (SEB), sub formă alungită, cilindrică, de bastonaș, și *segmentul intern* (SIB). Segmentul extern este fotoreceptorul propriu-zis, cel intern are rol metabolic.

Bastonașele asigură *vederea scotopică* (la lumină crepusculară), având o mare sensibilitate. Segmentul extern al bastonașelor conține până la 2000 de discuri membranare suprapuse. Membrana discurilor este formată din subunități membranare (cca 5 nm diametru) în centrul cărora se găsește proteina transmembranară numită rodopsină (pigmentul fotosensibil) alcătuită din *opsină* și *retinal* (aldehida vitaminei A).

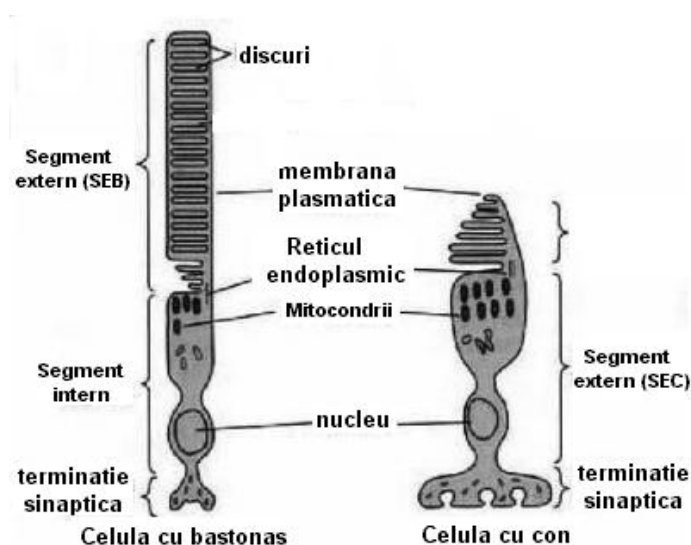


Fig. 25 Celulele cu bastonaș a) și cu con b)

La întuneric, prin canale numeroase din membrana bastonașului, care este polarizată

negativ, are loc influxul pasiv de Na și Ca numit *curent de întuneric* (Fig. 26), ionii de Na neacumulându-se deoarece sunt evacuați pe măsură ce intră de către pompele ionice din segmentul intern al bastonașului.

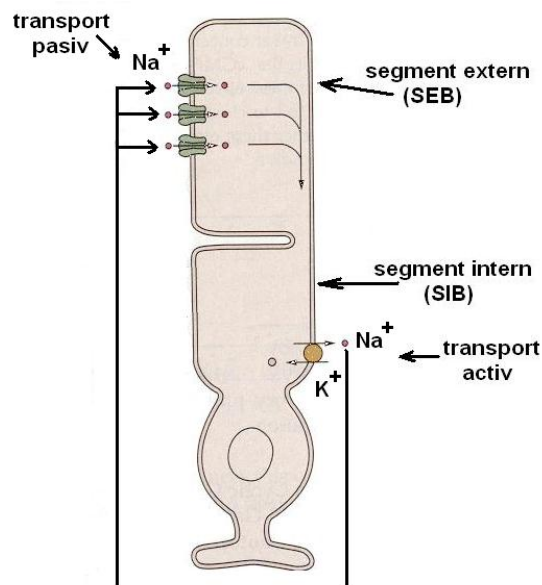


Fig. 26 Curentul de întuneric

În prezența luminii, rodopsina se activează (Fig. 27) și, ca urmare, se închid canalele de Na (Ca), ducând la dispariția curentului de întuneric și la hiperpolarizarea membranei.

În funcție de intensitatea luminii, potențialul celular poate ajunge la -80 mV. Variația de potențial duce la apariția potențialelor de acțiune de tip tot sau nimic care, prin nervul optic, ajung în scoarța cerebrală unde produc senzația vizuală.

Celulele cu conuri (Fig. 25b) permit perceperea culorilor (*vedere fotopică* – diurnă) fiind activate în condiții de luminozitate puternică. Se prezintă sub formă de con, în locul discurilor bastonașelor având o membrană faldurată. Pigmentul fotosensibil al conurilor este *iodopsina*, de trei tipuri în cazul

retinei umane: *eritrolab* (λ -570 nm), *clorolab* (λ -535 nm) și *cianolab* (λ - 445 nm). Aceste valori diferă de la o specie la alta.

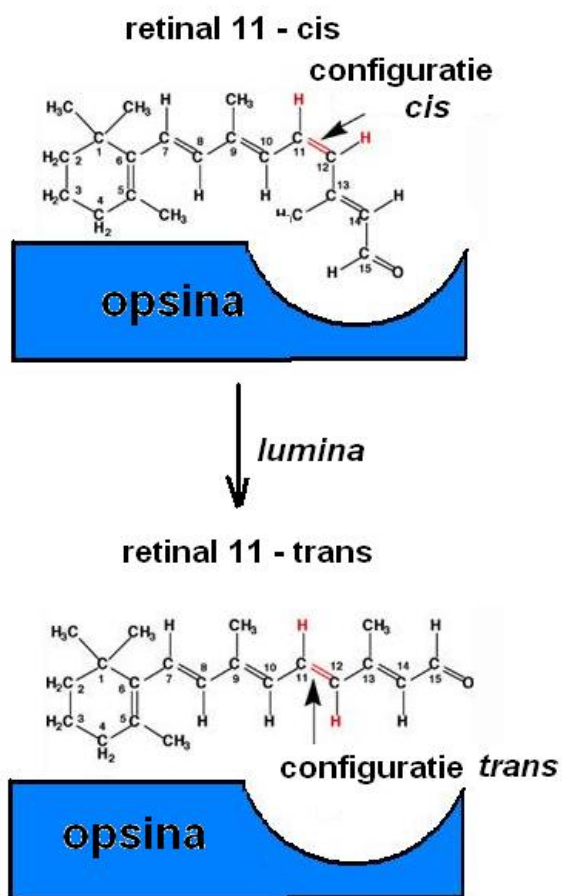


Fig. 27 Activarea rodopsinei la lumină; retinalul 11-cis trece în retinal 11-trans

Discromatopsiile

Discromatopsia este o anomalie a vederii, cauzată de absența sau de dereglarea funcțională a celulelor fotoreceptoare. Persoanele cu discromatopsie prezintă tulburări ale vederii colorate. Lipsa percepției culorilor, *acromatopsia*, este rezultatul lipsei conurilor. Majoritatea persoanelor cu probleme de percepție a culorilor pot identifica anumite culori, în foarte puține cazuri pacienții nefiind capabili să recunoască nici o culoare, ci văd doar nuanțe de gri, alb și negru. *Dicromazia*

constă în perceperea a două culori: dacă pacientul nu percepe culoarea roșie avem de-a face cu *protanopie*, dacă nu este perceput verdele ne referim la acel tip de dicromazie ca fiind *deutanopie*, iar în cazul absenței culorii albastre avem *tritanopie*. Conform *teoriei tricromatice a vederii colorate* (Young, Maxwell, Helmholtz) orice culoare se poate obține prin combinarea a trei culori.

Discromatopsiile sunt, în general, transmise genetic caz în care ambii ochi sunt afectați, aceste tulburări fiind ireversibile și netratabile, neputându-se însă agrava.

Discromatopsiile pot fi dobândite ca urmare a unor boli (de exemplu, cataracta care constă în opacifierea parțială sau totală a cristalinului) și traumatisme ale ochiului sau pot să apară cu înaintarea în vârstă. Discromatopsiile dobândite pot fi unilaterale sau asimetrice (unul dintre ochi este afectat mai puternic). Acestea pot fi tratate, în funcție de cauză, prin intervenție chirurgicală (în cazul în care cataracta a produs discromatopsia respectivă), prin oprirea medicamentelor care au cauzat tulburarea de vedere, prin recomandarea folosirii lentilelor de contact colorate sau a lentilelor antireflex (celulele cu basonaș funcționând mai bine la lumină mai slabă).

Testarea pacienților constă în recunoașterea culorilor și a denumirii acestora: subiectului i se cere să privească un așa-numit "pattern" care este un pătrat cu puncte colorate care realizează o literă sau un număr și să recunoască imaginea alcătuită din punctele

colorate. Cei cu vedere cromatică intactă pot recunoaște aceste pattern-uri, persoanele suferind de discromatopsie nu vor recunoaște sau vor identifica doar anumite litere sau cifre.

Discromatopsiile pot afecta dezvoltarea cognitivă (un copil cu rezultate slabe va trebui consultat și de un oftalmolog) dar pot limita și opțiunile profesionale.